Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 4, Winter 2025, p. 359-371

Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare*) Plant

A. Sadeghi[1], M. Farsi[2*], P. Taheri[3], A. A. Safari Sinegani[4]

1- Ph.D. Student, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: farsi@um.ac.ir)

Received: 29 December 2023 Revised: 13 March 2024 Accepted: 20 May 2024 Available Online: 07 December 2024	**How to cite this article:** Sadeghi, A., Farsi, M., Taheri, P., & Safari Sinegani, A. A. (2025). Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare*) Plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *22*(4), 359-371. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289

Introduction

Plant endophytes are microorganisms that live in healthy plant organs but do not cause disease symptoms, and the endophyte lifestyle plays an important role in plant growth, fitness, and diversity. Dark septate endophytic are a group of endophytic fungi that have special hyphae that form dark colonies in agar culture. In this stuy, the effect of these fungi on germination indicators, growth characteristics and increasing the amount of phosphorus in barley (*Hordeum vulgare*) plants was investigated, in order to investigate the possibility of using these fungi as biofertilizers in laboratory and greenhouse conditions.

Materials and Methods

In this study, seven endogenous fungal isolates were obtained from plants belonging to the Chenopodiaceae family including Aspergillus terreus, *Penicillium* sp., *Curvularia spicifera*, *Alternaria alternaria*, *Fusarium solani*, *Fusarium brachigibbosum* and *Acremonium consortialis*, which were identified in previous researches, were investigated. Piriformospora indica was used as a known fungal species. Yousef cultivar barley seeds were obtained from Khorasan Razavi Agricultural Research Center. The experiments were carried out as a completely randomized design with four replications in two sections: germination in the laboratory and planting in pots at the greenhouse of the faculty of agriculture of Ferdowsi university. To check the germination indicators, the seeds were stored on moist paper towels inside a sterile petri dish for one week at 28 °C in an incubator. Sterile distilled water was used as control. After one week, germination speed, germination percentage, germination value, and vigor index were assessed. For the greenhouse study, the soil mixture (three parts sand and one part

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289

soil) was sterilized at 105 °C for 48 hours. Pots measuring 20 × 20 cm were used. Seed inoculation was performed in a manner consistent with the germination test. Twelve seeds were sown in each pot, and at the two-leaf stage, the seedlings were thinned to eight plants per pot. After 28 days, the plants were evaluated for leaf area index, chlorophyll content, shoot phosphorus levels, dry weight, and fungal colonization percentage in the roots.

Results and Discussion

The percentage of colonization in all fungi except *A. alternaria* (%19.60) was above %30. The germination rate in the treatment with *A. terreus* (2.95 seed day^{-1}) was significantly higher than the control and other fungi. Also, the germinationn rate in the treatment with *A. alternaria*, *C. spicifera*, *A. consortialis*, *F. brachibosum* and *Penicilium* sp. was more than control. Germination percentage in *A. terreus* (%95), *Penicillium* sp. (%90), *C. spicifera* (%85) and *A. alternaria* (%80) were higher than the control (α=%5). Considering that the viability of the selected seeds was low (control germination percentage %50) and the mentioned fungi were able to increase the germination percentage in these seeds, these fungi are a suitable option for sowing seeds with low germination percentage. The value of germination in the treatment with *A. terreus* (3.735) was higher than the control and other treatments. Treatment with *Penicillium* sp., *A. alternaria* and *C. spicifera* fungi was more than the control. The vigour index of treatment with *A. terreus* (13.65), *C. spicifera* (13.23) and *A. alternaria* (11.53) in one group and at a significant level of %5 were higher than treatment with other fungi. *A. terreus* treatment improved all germination indices and this increase was higher than the control species (*P. indica)*. The amount of leaf phosphorus in the treatment with *A. terreus* (%0.516) and *P. indica* (%0.499) was higher than other fungal and control treatments. The leaf surface area in the treatment with *A. terreus* (9.97 cm^2) was higher than the treatment with other fungi and the control fungus (9.84 cm^2). In addition to *A. terreus*, the treatment with *A. consortialis* (10.06 cm^2), *C. spicifera* (9.91 cm^2) and *P. indica* (9.84cm^2) was significantly higher than the control . Chlorophyll a and b were the highest in the treatment with *A. terreus* and *P.indica*. In addition, the treatment with *C. spicifera* and *A. alternaria* had more chlorophyll a and b at a significant level of 5% than the control treatment . The dry weight of shoot with the treatment of *A. terreus* (6.40 mg g^{-1}) *and P. indica* (6.10 mg g^{-1}) increased the most compared to the treatment with other fungi.

Conclusion

Considering the ability of *A. terreus* in improving the germination characteristics, the plant growth conditions observed in this study. It is suggested to the next works should pay attention to the effect of this fungi on the environment and the ecosystem of other organisms and plants so that it can be used as a biological fertilizer.

Acknowledgement

We thank ferdowsi university of mashhad for providing the necessary facilities for the implementation of the project, Ferdowsi University Department of Plant Medicine and Soil Science for providing the control strain and the necessary equipment, and the expert on breeding barley cultivars at Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center.

Keywords: *Aspergillus*, Fungal endophyte, Germination index, Growth characteristics, Phosphorus absorption

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣، ص ٣٧١-٣٥٩

اثر قارچ‌های اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده کنوپودیاسه بر خصوصیات رشدی و افزایش جذب فسفر گیاه جو (*Hordeum vulgare*)

علی صادقی[۱]، محمد فارسی[۲*]، پریسا طاهری[۳]، علی اکبر صفری سنجانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱

چکیده

قارچ‌های اندوفیت موجب افزایش سطح تماس ریشه‌ها و باعث جذب بیشتر عناصر معدنی به‌طور ویژه عناصر کم‌تحرک مانند فسفر می‌شوند که در نتیجه، رشد گیاه را بهبود می‌دهند. در این پژوهش، هفت جدایه قارچی اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده اسفناج (*Salsola crassa*، *Suaeda aegyptica*، *Cornulaca leucacantha*، *Anabasis setifera*، *Salsola arbuscula* و *Chenopodium album*) در دو بخش جوانه‌زنی در آزمایشگاه و کاشت در گلدان در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در سال ۱۴۰۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی برای اثربخشی بر گیاه جو (*Hordeum vulgare*) مورد بررسی قرار گرفت. سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و بنیه بذر در بخش جوانه‌زنی و مساحت برگ، کلروفیل، میزان فسفر شاخساره، وزن خشک و درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه با قارچ‌های اندوفیت در بخش گلدانی مورد بررسی قرار گرفتند. درصد کلونیزه شدن ریشه توسط تمام قارچ‌ها به‌جز *Alternaria alternaria* (۱۹/۶۰ درصد) بالای ۳۰ درصد بود. تیمار تلقیح ریشه گیاه با قارچ *Aspergillus terreus* توانست سرعت جوانه‌زنی (۲/۹۵ بذر در روز)، درصد جوانه‌زنی (۹۵ درصد)، ارزش جوانه‌زنی (۳/۷۳) و بنیه بذر (۱۳/۶۵) را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد و دیگر تیمارها افزایش دهد ($P\leq0.05$). علاوه‌براین، در بخش صفات رشدی گیاه، تیمار تلقیح با *A. terreus* توانست درصد فسفر برگ (۰/۵۱۶ درصد)، مساحت برگ (۹/۹۷ m^2)، کلروفیل a و b و وزن خشک شاخساره (۶/۴۰ $mg\ g^{-1}$) را به‌طور معنی داری نسبت به دیگر تیمارهای قارچی افزایش دهد ($P\leq0.05$). با توجه به بهبود صفات جوانه‌زنی و رشدی گیاه توسط تیمار با *A. terreus*، این قارچ می‌تواند گزینه مناسبی برای فرمولاسیون و تولید کود زیستی باشد.

واژه‌های کلیدی: اندوفیت قارچی، *آسپرژیلوس*، خصوصیات رشدی، جذب فسفر، شاخص جوانه‌زنی

مقدمه

استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی می‌تواند باعث آلودگی محیط زیست شود و اثرات جانبی بر سلامت انسان و دام داشته باشد (Aktar, Sengupta, & Chowdhury, 2009). استفاده بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث تغییر pH و ساختار خاک، کاهش محتوای مواد آلی و هوموس، انهدام گونه‌های میکروبی مفید، توقف رشد گیاهان، افزایش شیوع آفات و افزایش ورودی گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شود (Pahalvi, Rafiya, & Rashid, 2021). اخیراً استفاده از عوامل زیستی به‌عنوان جایگزین در سیستم‌های کشاورزی پایدار برای کاهش اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. قارچ‌های اندوفیت، نقش مهمی در چرخه زندگی اکثر گونه‌های گیاهی دارند و بسیاری از گیاهان بدون این ریزجانداران از رشد کافی برخوردار نیستند (Aly, Debbab, & Proksch, 2011). اندوفیت‌های گیاهی، ریزجاندارانی هستند که در اندام‌های گیاهی سالم زندگی می‌کنند، امّا علائم بیماری را ایجاد نمی‌کنند، و سبک زندگی (نوع برهم‌کنش زیستی) آن‌ها نقش مهمی

۱- دانشجوی دکتری، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: farsi@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289

در رشد، تحمل به تنش و تنوع گیاه دارد (Hardoim *et al.*, 2015). قارچها، باکتری‌ها یا حتی ویروس‌ها را می‌توان به‌عنوان اندوفیت در نظر گرفت، امّا فراوان‌ترین آن‌ها، قارچهای اندوفیت هستند که در هر گیاه صرف‌نظر از اندازه، شکل یا گونه یافت می‌شوند (Khare & Mishra, 2018). قارچهای دارای دیواره سلولی تیره‌رنگ گروهی از قارچهای اندوفیت هستند که در محیط کشت، پرگنه‌های تیره‌ای تشکیل می‌دهند. این قارچها می‌توانند درون و بیرون از ریشه‌های گیاه رشد کنند (Diene, Wang, & Narisawa, 2013; Knapp, Kovács, Zajta, Groenewald, & Crous, 2015). ریسه‌های این قارچها دارای دیواره سفت کیتینی و ملانینی است که این رنگدانه‌ها، به‌ویژه ملانین، زنده‌مانی و کارآیی این قارچها را برابر تنش‌های محیطی و به‌ویژه خشکی افزایش می‌دهد. این گروه قارچی با تشکیل شبکه ریسه‌ای گسترده موجب افزایش سطح تماس و سرعت جذب ریشه‌ها شده و باعث جذب بیشتر عناصر معدنی به‌خصوص عناصر کم‌تحرک مانند فسفر، روی و مس می‌شوند که در نتیجه، زیست‌توده ریشه و ساقه را افزایش و رشد گیاه را بهبود می‌دهد (Marschner & Dell, 1994). فسفر در فرآیندهایی مانند فتوسنتز، تولید انرژی، سنتز قند و تجزیه آن و همچنین در هسته‌های کوآنزیمی، فسفوپروتئین‌ها و فسفولیپیدها کاربرد دارد (Jahandideh, Barani Motlagh, Dordipoor, Ghorbani Nasr Abadi, & Nazari, 2019).

هفت جدایه قارچی بررسی‌شده در این پژوهش می‌توانند حلالیت فسفر و کلسیم را افزایش دهند (Ahadi, Safari Sinegani, & Aletaha, 2020) و دارای توانایی زندگی اندوفیتی (در گیاه) و ساپروفیتی (در خاک) هستند (Diene *et al.*, 2013; Knapp *et al.*, 2015)، همچنین اثبات شده است که قارچهای اندوفیت با افزایش حلالیت فسفر و تجمع عنصر فسفر در شاخساره، باعث رشد بهتر گیاه جو (*Hordeum vulgare*) شده‌اند (Brazhnikova, Shaposhnikov, & Sazanova, 2022). با توجه به این اطلاعات، در این پژوهش به بررسی اثر هفت جدایه قارچی بر شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و افزایش میزان فسفر در گیاه جو در شرایط آزمایشگاه و گلخانه پرداخته شده است، تا بدین‌وسیله امکان استفاده از این قارچها به‌عنوان کود زیستی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، هفت جدایه قارچی اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده اسفناج شامل *Aspergillus terreus* ،*Penicillium* sp.، *Curvularia spicifera* ،*Alternaria alternaria* ،*Fusarium solani* ،*brachigibbosum* و *Fusarium Acremonium consortialis* که در پژوهش‌های قبلی شناسایی شده بود (Aletaha, Safari Sinegani, & Zafari, 2018)، مورد بررسی قرار گرفتند و گونه *Piriformospora indica* به‌عنوان گونه شناخته‌شده قارچی برای مقایسه به‌عنوان شاهد از گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت شد. بذر جو رقم یوسف (بهاره، زودرس و حساس به شوری) از مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی تهیه شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در دو بخش جوانه‌زنی در آزمایشگاه و کاشت در گلدان در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذور به‌مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۹۵ درصد و پنج دقیقه در محلول هیپوکلرید یک درصد تکان داده و سه بار در آب مقطر استریل شستشو شدند. برای تلقیح بذور با قارچ، بذور ضدعفونی‌شده در سوسپانسیون اسپور با غلظت 1×10^{7} به‌مدت دو ساعت غوطه‌ور شدند.

از آب مقطر استریل به‌عنوان شاهد استفاده شد. برای بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی، بذرها (۱۰ بذر در هر ظرف پتری) روی دستمال کاغذی مرطوب در داخل ظروف پتری استریل به‌مدت یک هفته در دمای ۲۸ °C در انکوباتور نگهداری شدند. بعد از یک هفته، سرعت جوانه‌زنی (Germination speed)، درصد جوانه‌زنی (Germination percentage)، ارزش جوانه‌زنی (Germination value) و بنیه بذر (vigor index) اندازه‌گیری شدند (Waqas *et al.*, 2012). معادله هر شاخص در زیر نشان داده شده است.

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{روز اول محاسبه}} + \cdots + \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{روز آخر محاسبه}} \quad (۱)$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذر}} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

$$\text{ارزش جوانه‌زنی} = \text{درصد جوانه‌زنی} \times \left(\frac{\text{درصد جوانه‌زنی تجمعی در هر روز}}{\text{تعداد روزها از شروع جوانه‌زنی}}\right) \quad (۳)$$

$$\text{بنیه بذر} = \frac{\text{طول گیاهچه}\,(cm) \times \text{درصد جوانه‌زنی}}{\text{تعداد کل بذر}} \quad (۴)$$

در پژوهش گلخانه‌ای، خاک استفاده‌شده (جدول ۱) برای استریل در دمای ۱۰۵ °C در اتوکلاو قرار گرفتند (Habibi, Maskarbashi, & Farzaneh, 2015) و از گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. تلقیح بذور در مرحله کاشت در گلدان مشابه تلقیح بذور در تست جوانه‌زنی انجام شد. در هر گلدان، ۱۲ عدد بذر کاشته و در مرحله دو برگی، تعداد بوته‌های هر گلدان به هشت بوته تنک شد. گیاهان بعد از ۲۸ روز به‌منظور اندازه‌گیری مساحت برگ، کلروفیل، فسفر شاخساره، وزن خشک شاخساره و درصد کلونیزه شدن ریشه توسط هر قارچ مورد بررسی قرار گرفتند (Habibi *et al.*, 2015). فسفر کودی به‌میزان ۲۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت سوپر فسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5)، پتاسیم کودی به‌مقدار ۵۴ میلی‌گرم پتاسیم خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت سولفات پتاسیم و نیتروژن کودی به‌میزان ۵۸ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت کود اوره به‌کار برده شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

نمونه Sample	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})
خاک Soil (0-30 cm)	65	15	18.3	1.1	1.7	0.09	0.02	7.1	0.18

برای تعیین وزن خشک شاخساره، نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰°C به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استون صورت گرفت، بدین‌ترتیب که ۰/۰۳ گرم برگ تر گیاه در هاون چینی با استون به‌صورت تدریجی سائیده شد. در هر مرحله، محلول شفاف رویی به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس، حجم محلول با استون به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل، سانتریفیوژ و جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۶۵۲ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر UV/Vis اندازه‌گیری شد (Bouzouina, Kouadria, & Lotmani, 2021).

برای تعیین میزان فسفر برگ، از روش رنگ‌سنجی استفاده شد و در نهایت، جذب آن در طول موج ۷۳۰ نانومتر با استفاده از محلول‌های استاندارد فسفر در محدوده 10-100 ppm اندازه‌گیری و نتایج براساس درصد فسفر در بافت مورد نظر محاسبه شد (Weggler- Beaton & Graham, 2003).

برای اطمینان از حضور قارچ در بافت ریشه گیاه و مشاهده قارچ در بافت ریشه، ریشه‌های گیاه تیمارشده با قارچ، برای ۲۴ ساعت در محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ درصد قرار گرفتند. بعد از حذف پتاسیم هیدروکسید از ریشه‌ها با شستن توسط آب مقطر، ریشه‌ها به محلول اسید کلریدریک پنج درصد به‌مدت ۲-۱ دقیقه منتقل شدند. سپس، اسید کلریدریک حذف شد و بافت گیاه در محلول رنگ‌آمیزی تریپان بلو با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر قرار گرفت (Kobae & Ohtomo, 2016). برای تعیین درصد کلونیزه‌شده در هر گیاهچه توسط قارچ، ۱۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه گیاه با میکروسکوپ بررسی شد و درصد کلونیزه شدن براساس تعداد قطعات ریشه گیاه کلونیزه‌شده با قارچ، نسبت به کل تعداد قطعات ریشه (۱۰ قطعه) محاسبه شد. سطح برگ از طریق رابطه (۵) محاسبه شد (Bouzouina *et al.*, 2021).

(۵) سطح برگ = ۰/۷۵ × (طول برگ + عرض برگ)

تجزیه واریانس داده توسط نرم‌افزار SAS و آزمون مقایسه میانگین توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

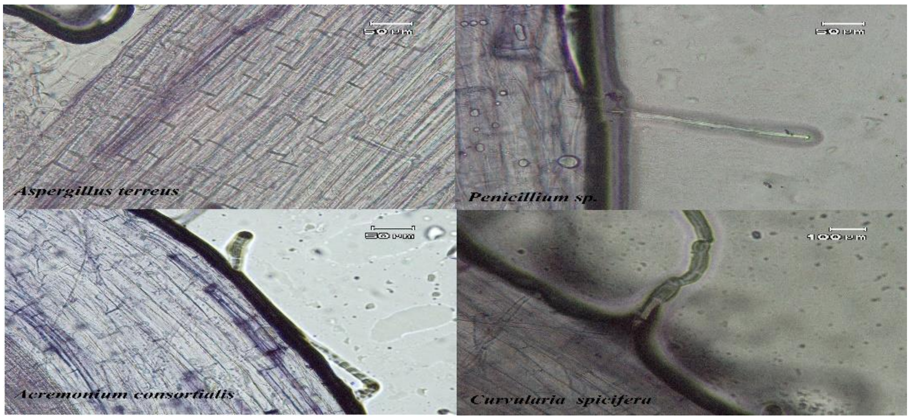
بررسی کلونیزه شدن ریشه گیاهچه جو توسط قارچ‌ها

تصاویر میکروسکوپی رشد ریسه‌های قارچ‌های *Penicillium sp.* (a)، *C. spicifera* (b)، *A. terreus* (c)، *A. alternaria* (d)، *A. consortialis* (d) و *F. solani* (e) در محیط درون و بیرون از سلول‌های ریشه در شکل ۱ نشان داده شد و درصد کلونیزه شدن در تمام قارچ‌ها به‌جز *A. alternaria* (۱۹/۶۰) بالای ۳۰ درصد بود. نتایج نشان داد که این قارچ‌ها قابلیت کلونیزه کردن ریشه جو را دارند. کلونیزه شدن ریشه گیاه گندم توسط این قارچ‌ها نیز نشان داده شده است (Aletaha & Sinegani, 2020).

جدول ۲- درصد کلونیزه شدن قارچ‌ها در ریشه گیاه جو

Table 2- Percentage of fungi colonization in the barley root

قارچ Fungi	*Penicillium sp.*	*Fusarium solani*	*Aspergillus terreus*	*Fusarium brachigibbosum*	*Acremonium consortialis*	*Curvularia spicifera*	Control	*Piriformospora indica*	*A. Alternaria*
درصد کلونیزه شدن Colonization percentage	31.60	30.63	37.67	33.77	30.73	36.27	0	36.17	19.60



شکل ۱- حضور ریسه قارچ‌های *Penicillium* sp، *Curvularia spicifera*، *Aspergillus terreus* و *Acremonium consortialis* در ریشه که با استفاده از میکروسکوپ نوری تصویربرداری شده است

Figure 1- The presence of hyphae of *Penicillium* sp., *C. spicifera*, *A. terreus* and *A. consortialis* of fungi in root, which were imaged using an optical microscope

شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و بنیه بذر تحت تأثیر قارچ‌های اندوفیت معنی‌دار شد (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی در تیمار با قارچ *A. terreus* (۲/۹۵ دانه در روز) بیشتر از شاهد و دیگر قارچ‌ها بود (α=۵٪). همچنین سرعت جوانه‌زنی در تیمار با قارچ‌های *A. alternaria*، *C. spicifera*، *A. consortialis*، *F. brachibosum* و *Penicilium sp.* بیشتر از شاهد بود (شکل ۲).

درصد جوانه‌زنی در *A. terreus* (۹۵ درصد)، *Penicillium sp.* (۹۰ درصد)، *C. spicifera* (۸۵ درصد) و *A. alternaria* (۸۰ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (P≤0.05) (شکل ۳). با توجه به این‌که درصد جوانه‌زنی در شاهد ۵۰ درصد بود و قارچ‌های مذکور توانستند درصد جوانه‌زنی در این بذور را افزایش دهند، این قارچ‌ها گزینه مناسبی برای تلقیح بذور با درصد جوانه‌زنی پایین هستند. به‌طور مشابه، کومار و همکاران (Kumar, Maurya, & Raghuwanshi, 2021) نشان دادند که بذرمال با تیمار زیستی، درصد جوانه‌زنی را افزایش داد.

ارزش جوانه‌زنی در تیمار با *A. terreus* (۳/۷۳) نسبت به شاهد و دیگر تیمارها بیشتر بود. همچنین ارزش جوانه‌زنی تیمار با قارچ‌های *Penicillium sp.*، *A. alternaria* و *C. spicifera* بیشتر از شاهد بود (شکل ۴).

الیوت و همکاران (Waqas *et al.*, 2012) گزارش دادند که بنیه بذر بالا منجر به افزایش وزن کل بوته شده و عملکرد را نیز بهبود می‌بخشد. بنیه بذر تیمار *A. terreus* (۱۳/۶۵) و *C. spicifera* (۱۳/۲۳) در یک گروه و به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار تلقیح با دیگر قارچ‌ها بودند (P≤0.05) (شکل ۵).

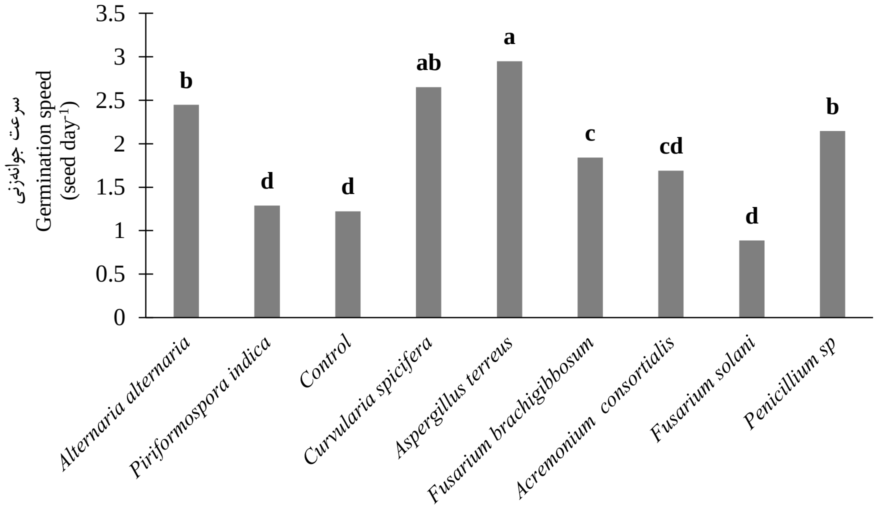
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تلقیح قارچ‌های اندوفیت بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گیاه جو

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of endophytic fungi inoculation on barley seed germination indices

منابع تغییرات S.O.V	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	ارزش جوانه‌زنی Germination value	بنیه بذر Vigour index
گونه‌های قارچی Fungi species	1.47*	1245.8*	6.627*	59.38*
خطا Eror	0.0004	0.534	0.0005	0.0087
ضریب تغییرات CV	2.4	3.8	2.6	4.2

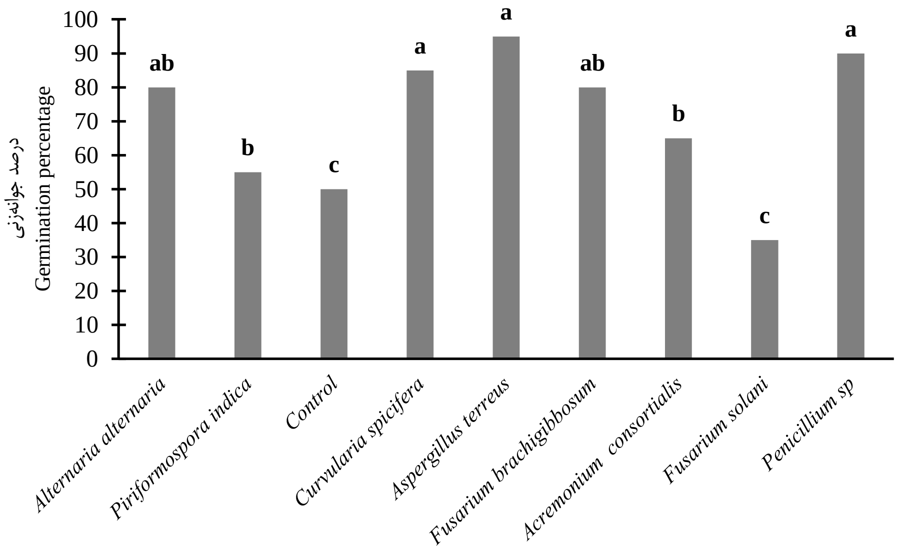
* معنی‌داری در سطح پنج درصد

* Significance at the% 5 level



شکل ۲- اثر قارچ‌ها بر سرعت جوانه‌زنی گیاه جو

Figure 2- Effect of the fungi on germination speed of barley



شکل ۳- اثر قارچ بر درصد جوانه‌زنی گیاه جو

Figure 3- Effect of fungi on percentage of germination of barley

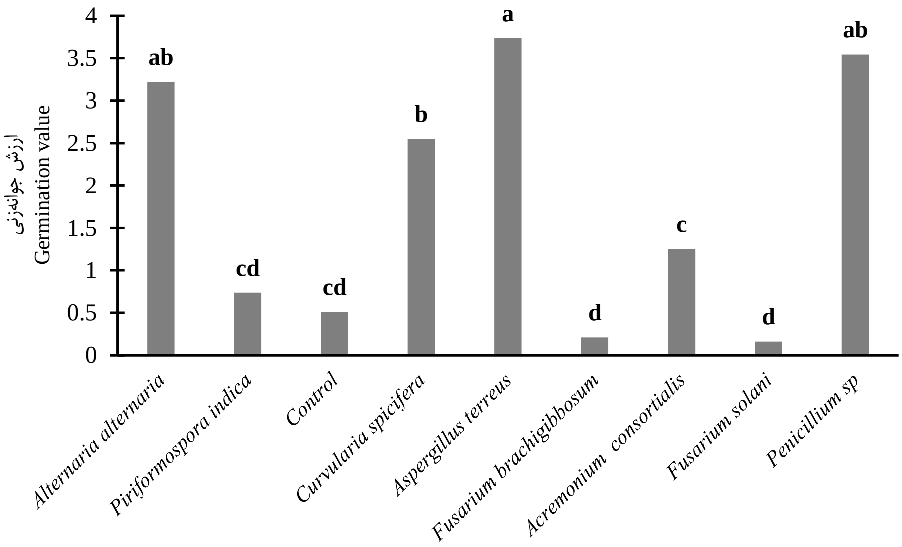
تیمار *A. terreus* تمام شاخص‌های جوانه‌زنی را بهبود داد و این افزایش از گونه شاهد *P. indica* بیشتر بود. این افزایش در جوانه‌زنی می‌تواند به‌علت تولید متابولیت‌های ثانویه باشد (Mathur, Chaturvedi, & Sharma, 2022). ایجاد کشت مایع فیلترشده (محلول فیلترشده حاصل از محیط کشت مایعی که قارچ در آن رشد کرده است) از این قارچ‌ها، اثر متابولیت‌های ثانویه بر جوانه‌زنی را بیشتر نشان می‌دهد (Sadeghi, Farsi, Taheri, & Safari Sanjani, 2022).

ویژگی‌های رشدی و میزان فسفر در شاخساره

میزان کلروفیل، مساحت برگ، وزن خشک شاخساره و مساحت برگ تحت تأثیر قارچ‌ها معنی‌دار شدند (جدول ۴).

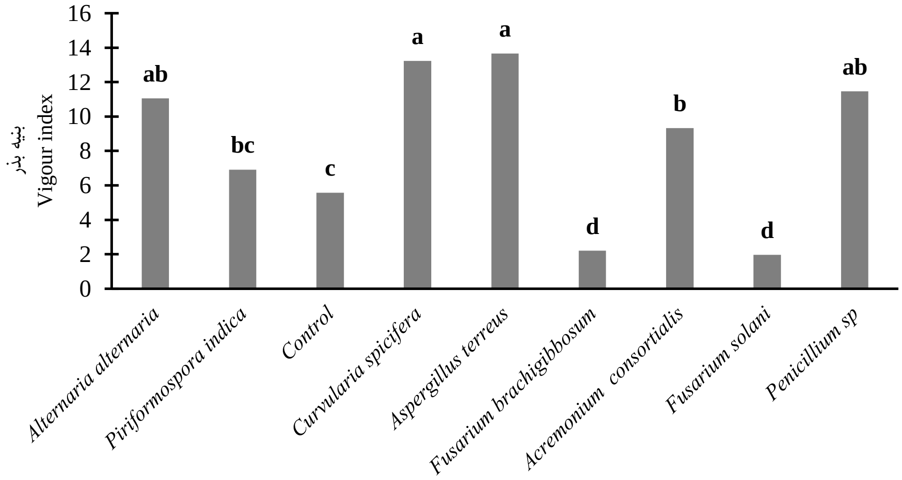
درصد فسفر برگ در تیمار با *A. terreus* (۰/۵۱۶ درصد) و *P. indica* (۰/۴۹۹ درصد) بیشتر از دیگر تیمارهای قارچی و شاهد بود (شکل ۶). *A. terreus* توانایی حل کردن فسفات در خاک را دارد (Ahadi *et al.*, 2020) و قارچ‌های حل‌کننده فسفات، جذب فسفر در

گیاه و در پی آن عملکرد را افزایش می‌دهند (Sembiring, 2017).



شکل ٤- اثر قارچ بر ارزش جوانه‌زنی گیاه جو

Figure 4- Effect of fungi on germination value of barley



شکل ۵- اثر قارچ بر بنیه بذرگیاه جو

Figure 5- Effect of fungi on vigour index of barley

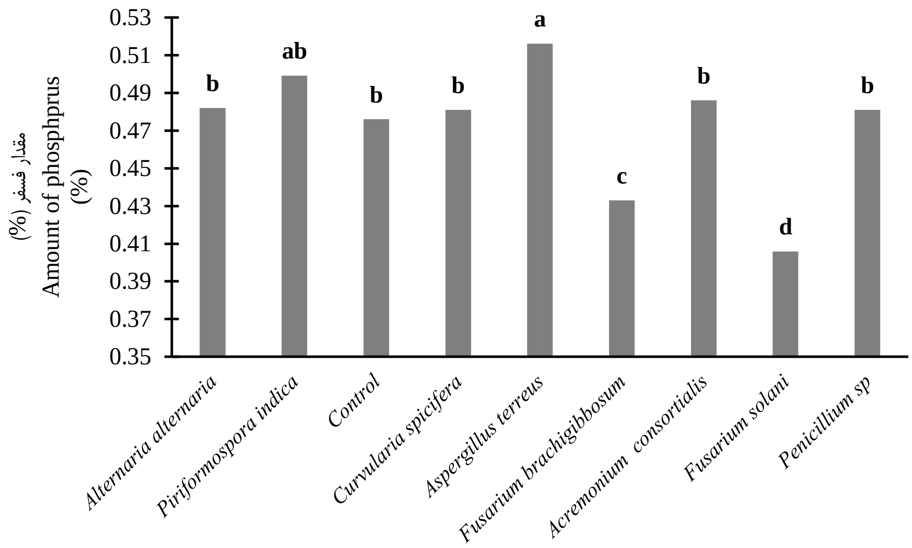
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تلقیح قارچ‌های اندوفیت بر صفات رشدی و درصد فسفر در شاخساره گیاه جو

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of inoculation of endophytic fungi on growth traits and percentage of phosphorus in barley shoots

منابع تغییرات **S.O.V**	کلروفیل **Chlorophyll a**	مساحت برگ **Leaf area**	مقدار فسفر **Phosphprus**	وزن خشک شاخساره **Shoot dry weight**
گونه‌های قارچی Fungi species	4.19*	0.245*	0.0034*	0.408*
خطا Eror	0.049	0.0094	0.00002	0.0033
ضریب تغییرات CV	2.3	3.6	1.8	4.5

* معنی‌داری در سطح پنج درصد

* Significance at the %5 level

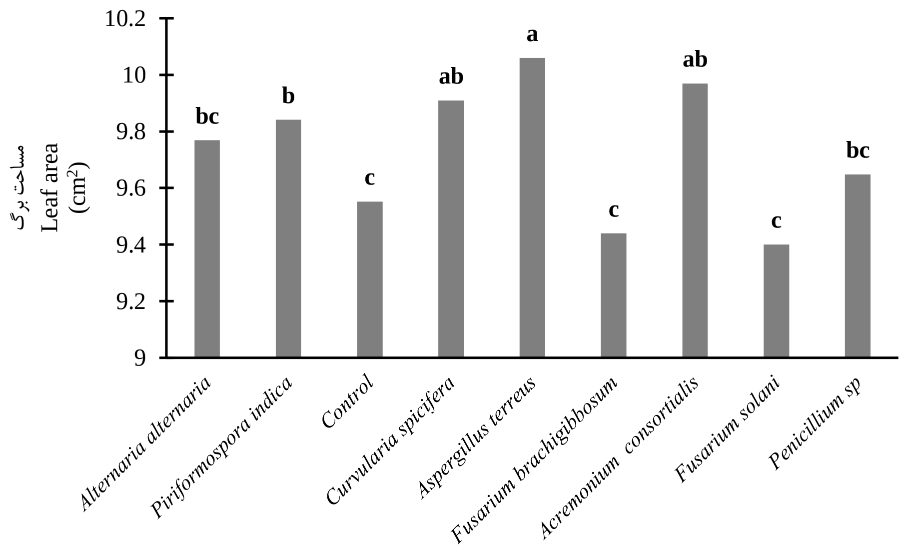


شکل ٦- اثر تیمار قارچ بر درصد فسفر برگ گیاه جو

Figure 6- Effect of fungi treatment on leaf phosphorus of barley

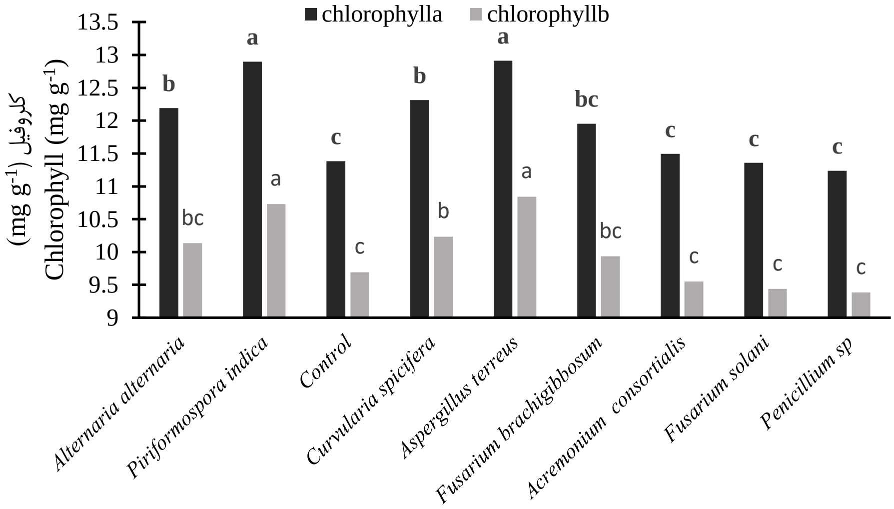
مساحت برگ (Leaf area) در تیمار با *A. terreus* (۱۰/۰۶ سانتی‌متر مربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار با دیگر قارچ‌ها و قارچ شاهد *P. indica* (۹/۸۴) بود (P≤0.05). همچنین در تیمار با قارچ‌های *A. consortialis* (۹/۹۶ سانتی‌متر مربع)، *C. spicifera* (۹/۹۱ سانتی‌متر مربع) و *P. indica* (۹/۸۴ سانتی‌متر مربع) مساحت برگ (Leaf area) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (P≤0.05) (شکل ۷). مساحت برگ که یکی از صفات فیزیولوژیک مهم به‌حساب می‌آید، در دیگر گزارش‌ها توسط قارچ شاهد *P. indica* افزایش یافته است (Ahmadvand & Hajinia, 2018).

کلروفیل a و b در تیمار با *A. terreus* و *P.indica* بیشترین مقدار بود. علاوه‌بر این تیمار با *C. spicifera* و *A. alternaria* نسبت به شاهد، کلروفیل a و b بیشتری به‌طور معنی‌دار داشته است (P≤0.05) (شکل ۸).



شکل ۷- اثر تیمار قارچ بر مساحت برگ گیاه جو

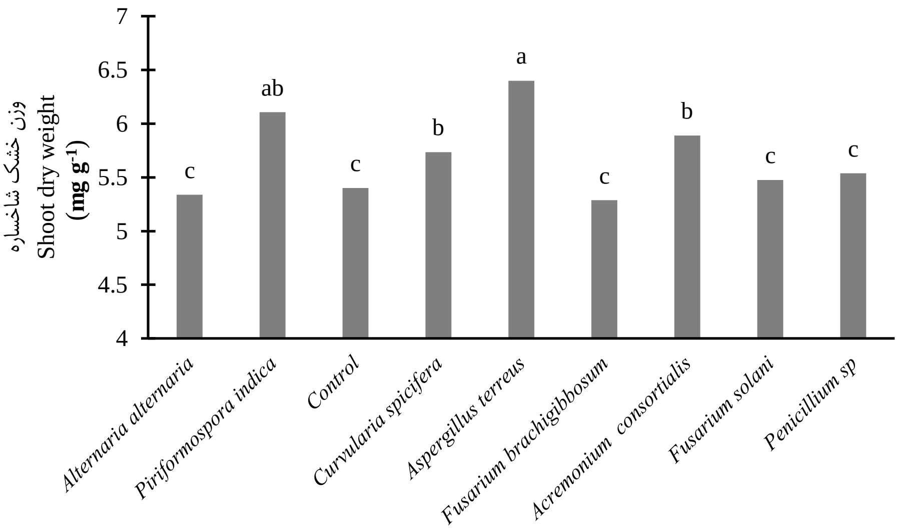
Figure 7- Effect of fungi treatment on leaf area of barley



شکل ۸- اثر تیمار قارچی بر میزان کلروفیل برگ گیاه جو

Figure 8- Effect of fungi treatment on amount of chlorophyll of barley

وزن خشک شاخساره در هر بوته با تیمار قارچ‌های *A. terreus* (۶/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) و *P. indica* (۶/۱۰ میلی‌گرم بر گرم) بیشترین افزایش را نسبت به دیگر تیمارها دیگر داشتند. علاوه‌بر این دو قارچ، قارچ‌های *C. spicifera* و *A. consortialis* باعث افزایش وزن خشک نسبت به شاهد شدند (شکل ۹).



شکل ۹- اثر تیمار قارچی بر وزن خشک شاخساره گیاه جو ($mg\ g^{-1}$)

Figure 9- Effect of fungi on shoot dry weight of barley ($mg\ g^{-1}$)

سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، بنیه بذر و ارزش جوانه‌زنی بذور گیاه جو در تیمار تلقیح با قارچ‌های اندوفیت *Aspergillus terreus*، *Penicillium sp.*، *Curvularia spicifera*، *Alternaria alternaria*، *Fusarium brachigibbosum* افزایش نشان داد (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). قارچ‌های *Alternaria alternaria* (Ferreira, dos Santos Oliveira, Polonio, Pamphile, & Azevedo, 2023) و *Aspergillus terreus* (Ghoniemy, El-Khawaga, El-Aziz, Marwa, & Abulila, 2020) و *Penicillium sp* (Gu *et al.*, 2023) توان تولید هورمون ایندول استیک اسید و جیبرلین را دارند و این هورمون‌ها اثر مثبت بر جوانه‌زنی دارند (Zhao & Zhong, 2013). تأثیر سویه‌های فوزاریوم (*Fusarium sp.*) در بهبود جوانه‌زنی بذر توسط دیگر محققان

گـزارش شـده اسـت (Vujanovic, St-Arnaud, Barabe, & Thibeault, 2000).

قارچ‌های اندوفیت می‌توانند جذب درشت مغذی‌هـا ماننـد فسـفر، نیتروژن، پتاسیم و منیزیم یا ریزمغذی‌هایی مانند روی، آهن و مس را از خاک و مواد آلی بهبود بخشند و انتقال این مواد مغذی بـه میزبـان گیاهی را افزایش دهند (Rana *et al.*, 2020). فسفر در فرآینـدهایی مانند فتوسنتز، تولیـد انـرژی، سـنتز قنـد و تجزیـه آن و همچنـین در هسته‌هـای کـوآنزیمی، فسـفوپروتئین‌هـا و فسـفولیپیدها کـاربرد دارد (Jahandideh *et al.*, 2019). قارچ *P. indica* دارای توانایی انتقـال مواد معدنی از جمله فسـفات‌هـا بـه گیاهـان میزبـان اسـت (Card, Johnson, Teasdale, & Caradus, 2016). اورتگـا و همکـاران (Ortega *et al.*, 2015) نشـان دادنـد کـه تلقـیح *Trichoderma asperellum* بـه‌طـور قابـل‌تـوجهی اسـتفاده از کـود فسـفر در پیـاز (*Allium cepa*) را کـاهش داد. بـه‌طـور مشـابه، بـارون و همکـاران (Baron, Costa, Mochi, & Rigobelo, 2018) پژوهشـی مزرعه‌ای انجام دادنـد و ذرت (*Zea mays*) را توسـط *Aspergillus sydowii* تلقیح کردند و گیاهانی که با قارچ همزیست شـدند، مقـادیر قابل‌توجهی فسـفر را در بافـت‌هـای خـود انباشـته کردنـد. داسـیلا و همکاران (Dasila *et al.*, 2024) نیز با بررسـی قارچ‌هـای انـدوفیت حل‌کننده فسفر نشان دادند که جوانه‌زنی و رشد بهبود می‌یابد. در این پژوهش، درصد فسفات در بـرگ گیـاه جـو در تیمـار بـا *A. terreus* (۰/۵۱۶ درصد) بیشـتر از تیمـار بـا قـارچ شـاهد *P. indica* (۰/۴۹۹ درصد) و شاهد بود که نشان‌دهنده جذب بیشتر فسفر است. قارچ‌هـای اندوفیت، افـزایش جـذب فسـفات را از طریـق تغییـر سـاختار ریشـه، افزایش بیان ژن ترانسپورتر فسفات در گیاه و افزایش ترشـح فسـفاتاز در محـیط ریشـه (Cao *et al.*, 2022) و یـا تغییـر در هورمون‌هـای گیاهی (Jiang, Zhao, & Pan, 2022) انجام می‌دهند.

افـزایش میـزان کلروفیـل، فتوسـنتز گیـاه را افـزایش می‌دهـد و فتوسنتز نقش مهمی در متابولیسم گیاهـان دارد (Qi *et al.*, 2022). زنـگ و همکـاران (Zeng, Dong, Lin, Zhou, & Xu, 2024) بـا تلقـیح قـارچ *Talaromyces verruculosus* روی بـذور خیـار (*Cucumis sativus*) نشـان داد کـه ایـن قـارچ بـا افـزایش میـزان کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتز، رشد گیاهچه‌ها را افزایش داده است. در این آزمایش، تلقیح بذور گیاه جو با قارچ *A. terreus* باعث تجمـع بیشتر فسفر در برگ و افزایش سـطح بـرگ، میـزان کلروفیـل و وزن خشک گیاه شد. بادر و همکاران (Bader, Salerno, Covacevich, & Consolo, 2020) نیز سویه‌های *تریکودرما* را با بذور گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تلقیح کردند که بـا جـذب بیشـتر مـواد مغذی و تولید هورمون‌های گیاهی توانستند ارتفـاع گیـاه، وزن تـازه و خشـک ریشـه‌ها و انـدام‌های هـوایی و محتـوای کلروفیـل بـرگ را بیشترکنند.

کودهای زیستی، محتوای موجودات زنده‌ای هسـتند کـه توانـایی حل کردن فسـفات و افـزایش رشـد گیـاه را دارنـد (Kumar *et al.*, 2021). در این مطالعـه، قارچ‌هـایی بـا توانـایی حـل کـردن فسـفات (Ahadi *et al.*, 2020) مورد بررسی قرار گرفتند و نشان داده شد که گونه *A.terreus* علاوه‌بر افزایش میـزان فسـفر بـرگ گیـاه، توانـایی بهبود شاخص‌های رشدی گیاه و جوانـه‌زنی را دارد. یـائو و همکـاران (Yoo, Shin, Won, Song, & Sang, 2018) نیز گزارش کرده‌انـد کـه *A. terreus* علاوه‌بـر بهبـود رشـد گیـاه، می‌توانـد مقاومـت بـه باکتری‌های بیماری زا را در گیاه ایجاد کند. این نتـایج، پتانسـیل ایـن گونه را برای استفاده در کودهای رایج نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به کلونیزه‌شدن ریشه گیاه جـو بـا قارچ‌هـای انـدوفیت از گیاهان خانواده کنوپودیاسه و بهبود خصوصیات رشدی گیـاه کلـونیزه شده، می‌توان از تنوع قارچ‌های انـدوفیت بیشـتر بـرای بررسـی روی دیگر گیاهان زراعی استفاده کرد. بذور گیـاه جـو بـا اسـپورهای قـارچ بذرمال شدند و جوانه‌زنی گیاه بهبود یافت، استفاده از اسپورهای قـارچ *A.terreus* برای بررسی بیشتر به‌عنوان بـذرمال را می‌تـوان پیشـنهاد کرد. تلقیح ریشه‌های جو با اسپور قارچ *A.terreus*، جـذب فسـفات و صفات رشدی گیاه را بهبود بخشید، به این علت پیشنهاد می‌شود کـه در پژوهش‌های بعدی در سطح مزرعه از اسپورهای این قارچ همراه با مواد آلی استفاده شود تا توانایی این قارچ اندوفیت به‌عنوان کود زیستی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه فردوسی مشهد جهت فراهم کردن امکانات لازم برای اجرای طرح، از گروه گیاه‌پزشکی و خاک‌شناسـی دانشـگاه فردوسی به‌علت ارائه سویه قارچی شاهد و تجهیزات لازم و کارشناس اصلاح ارقام جو در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسـان رضوی، سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Ahadi, N., Safari Sinegani, A. A., & Aletaha, R. S. (2021). Evaluation of capability of fifteen isolates of mycorrhiza-like endophytic fungi on release of phosphorous from phosphorite mineral in the aquatic culture medium. *Applied Soil Research*, *9*(2), 87-101.
2. Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2018) Effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on yield and some

physiological traits of millet (*Panicum miliaceum*) under water stress. *Crop and Pasture Science, 69*(6), 594-605. https://doi.org/10.1071/CP17364
3. Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdiscip Toxicol*, *2*, 1-12. https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7
4. Aletaha, R., Safari Sinegani, A. A., & Zafari, D. (2018). A survey on endophytic fungi within roots of *Chenopodiaceae* species under different environmental conditions. *Mycosphere, 9*(4), 618-634. https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/4/1
5. Aletaha, R., & Sinegani, A. A. S. (2020). Water availability in soil affect performance of different root fungal colonizers on metabolism of wheat. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, *44*(4), 919-931.
6. Aly, A. H., Debbab, A., & Proksch, P. (2011). Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Applied Microbioly and Biotechnology*, *90*, 1829-45. https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/4/1
7. Bader, A. N., Salerno, G. L., Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University-Science*, *32*(1), 867-873. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002
8. Baron, N. C., Costa, N. T. A., Mochi, D. A., & Rigobelo, E. C. (2018). First report of *Aspergillus sydowii* and *Aspergillus brasiliensis* as phosphorus solubilizers in maize. *Annals of Microbiology*, *68*(12), 863-870. https://doi.org/10.1007/s13213-018-1392-5
9. Bouzouina, M., Kouadria, R., & Lotmani, B. (2021). Fungal endophytes alleviate salt stress in wheat in terms of growth, ion homeostasis and osmoregulation. *Journal of Applied Microbiology*, *130*(3), 913-925. https://doi.org/10.1111/jam.14804
10. Brazhnikova, Y. V., Shaposhnikov, A. I., & Sazanova, A. L. (2022). Phosphate mobilization by culturable fungi and their capacity to increase soil P availability and promote barley growth. *Current Microbiology*, *79*, 240 https://doi.org/10.1007/s00284-022-02926-1
11. Cao, M. A., Liu, R. C., Xiao, Z. Y., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alsayed, M. F., Harsonowati, W., & Wu, Q. S. (2022). Symbiotic fungi alter the acquisition of phosphorus in *Camellia oleifera* through regulating root architecture, plant phosphate transporter gene expressions and soil phosphatase activities. *Journal of Fungi*, *8*, 800. https://doi.org/10.3390/jof8080800
12. Card, S., Johnson, L., Teasdale, S., & Caradus, J. (2016). Deciphering endophyte behaviour: The link between endophyte biology and efficacious biological control agents. *FEMS Microbiology Ecology*, *92*(8), 19. https://doi.org/10.1093/femsec/fiw114
13. Dasila, H., Sah, V. K., Jaggi, V., Kumar, A., Tewari, L., Taj, G., ... & Sahgal, M. (2023). Cold-tolerant phosphate-solubilizing Pseudomonas strains promote wheat growth and yield by improving soil phosphorous (P) nutrition status. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1135693.
14. Diene, O., Wang, W., & Narisawa, K. (2013). *Pseudosigmoidea ibarakiensis* sp. nov., a dark septate endophytic fungus from a cedar forest in Ibaraki, Japan. *Journal of Microbes and Environments*, *13002*, 387. https://doi.org/10.1264/jsme2.ME13002
15. Ferreira, A. P., dos Santos Oliveira, J. A., Polonio, J. C., Pamphile, J. A., & Azevedo, J. L. (2023). Recombinants of Alternaria alternata endophytes enhance inorganic phosphate solubilization and plant growth hormone production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. *51*: 102784. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102784
16. Ghoniemy, E. A., El-Khawaga, M. A., El-Aziz, A., Marwa, A., & Abulila, H. I. (2020). Biosynthesis of Plant Growth Hormones (Indol Acetic Acid and Gibberellin) By Salt-Tolerant Endophytic Fungus Aspergillus terreus SQU14026. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, G. Microbiology*, *12*(2), 111-129. http://doi.org/10.21608/eajbsg.2020.214043
17. Gu, K., Chen, C. Y., Selvaraj, P., Pavagadhi, S., Yeap, Y. T., Swarup, S., & Naqvi, N. I. (2023). *Penicillium citrinum* provides transkingdom growth benefits in choy sum (*Brassica rapa var. parachinensis*). *Journal of Fungi*, *9*(4), 420.
18. Habibi, S., Maskarbashi, M., & Farzaneh, M. (2015). Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus spp*) on wheat (*Triticum aestivum*) yield and yield components with regard to irrigation water quality. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *14*(3), 85-100. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.51155
19. Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttila, A. M., Compant, S., Campisano, A., Doring, M., & Sessitsch. A. (2015). The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews,* 79(3), 293-320. https://doi.org/10.1128/mmbr.00050-14
20. Jahandideh, A., Barani Motlagh, M., Dordipoor, E., Ghorbani Nasr Abadi, R., &Nazari, T. (2019). The effects of Co-application of Humic acid and phosphorous fertilizer on vegetative growth indices and phosphorous availability in canola. *Applied Soil Research*, *8*, 68-78. https://doi.org/10.1007/BF00000098
21. Jiang, H. J., Zhao, Y. Y., & Pan, Y. T. (2022). The endophytic fungus *Phomopsis liquidambaris* promotes

phosphorus uptake by *Arachis hypogaea* L. by regulating host auxin, gibberellins, and cytokinins signaling pathways. *J Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*, 4913-4927. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00970-1

22. Khare, E. J., & Mishra, N. K. (2018). Multifaceted interactions between endophytes and plant: Developments and prospects. *Frontier of Microbiology*, *9*, 1-12. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02732
23. Knapp, D. G., Kovács, G. M., Zajta, E., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2015). Dark septate endophytic pleosporalean genera from semiarid areas. *Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, *35*, 87. https://doi.org/10.3767/003158515X687669
24. Kobae, Y., & Ohtomo, R. (2015). An improved method for brightfield imaging of arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots. *Soil Science and Plant Nutrition*, *62*(1), 27-30. https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1106923
25. Kumar A., Maurya, B. M., & Raghuwanshi, R. (2021). The microbial consortium of indigenous rhizobacteria improving plant health, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Nutrition*, *44*, 1942-1956. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884706
26. Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, *159*, 89-102. https://doi.org/10.1007/BF00000098
27. Mathur, P., Chaturvedi, P., & Sharma, C. (2022). Improved seed germination and plant growth mediated by compounds synthesized by endophytic *Aspergillus niger* (isolate 29) isolated from *Albizia lebbeck* (L.) Benth. *3 Biotech 12*, 271. https://doi.org/10.1007/s13205-022-03332-x
28. Ortega-Garcia, J. G., Montes-Belmont, R., Rodriguez-Monroy, M., Ramirez-Trujillo, J. A., Suarez-Rodriguez, R., & Sepulveda-Jimenez, G. (2015). Effect of trichoderma asperellum applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Scientia Horticulturae (Amsterdam)*, *195*, 8-16. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027
29. Pahalvi, H. N., Rafiya, L., & Rashid, S. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: GH Dar, KR Hakeem, MA Mehmood, & RA Bhat (eds.). *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. New York: Springer, New York. 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
30. Qi, S., Wang, J., Wan, L., Dai, Z., da Silva Matos, D. M., Du, D., Egan, S., Bonser, S. P., Thomas, T., & Moles, A. T. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of solidago canadensis in a phosphorous−deficient environment. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 831654. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.831654
31. Rana, K. L., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A. N., Yadav, N., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K.(2020). Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. Antonie Van Leeuwenhoek *International Journal of General and Molecular Microbiology*, *113*(8), 1075-1107. https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-
32. Sadeghi, A., Farsi, M., Taheri, P., & Safari Sanjani, A. (2022). *Priming of barley seeds with filtered culture of fungal species to increase tolerance to salinity (sodium chloride) in the germination stage*. 8th International Knowledge Conference and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, Tehran. (in Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1651909
33. Sembiring, M. (2017). Bacterial and fungi phosphate solubilization effect to increase nutrient uptake and potatoes (*Solanum tuberosum* L.) production on Andisol Sinabung area. *Journal Agronomy*, *16*, 131-137. https://doi.org/10.3923/ja.2017.131.137
34. Vujanovic, V., St-Arnaud, M., Barabe, D., & Thibeault, G. (2000). Viability testing of orchid seed and the promotion of colouration and germination. *Annals of. Botany*, *86*, 79-86. https://doi.org/10.3390/plants8010005
35. Waqas, M., Khan, A. L., Hamayun, M., Kamran, M., Kang, S. M., Kim, Y. H., & Lee, I. J. (2012). Assessment of endophytic fungi cultural filtrate on soybean seed germination. *African Journal of Biotechnology*, *11*(85), 15135-15143.
36. Weggler- Beaton, R. D., & Graham, M. J. (2003). The influence of low rates of arid- dried on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat and barley. *Australian Journal of Soil Research*, *41*, 293-308. https://doi.org/10.1071/SR02074
37. Yoo, S., Shin, D., Won, H., Song, J., & Sang, M. (2018) *Aspergillus terreus* JF27 promotes the growth of tomato plants and induces resistance against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. *Mycobiology*, *46*(2), 147-153. https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1475370
38. Zeng, Q., Dong, J., Lin, X., Zhou, X., & Xu, H. (2024). Isolation and Identification of *Acer truncatum* Endophytic Fungus *Talaromyces verruculosus* and evaluation of its effects on insoluble phosphorus absorption capacity and growth of cucumber seedlings. *Journal of Fungi*, *10*(2), 136. https://doi.org/10.3390/jof10020136
39. Zhao, G., & Zhong, T. (2013). Influence of exogenous IAA and GA on seed germination, vigor and their endogenous levels in *Cunninghamia lanceolata*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, *28*(6), 511-517. https://doi.org/10.1080/02827581.2013.783099